

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Reflexní optoelektrická závora**  
Reflective Opto Electric Doorframe Bar

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jaroslav Adzima**  
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**  
Studijní obor: **3901R039 Biomedicínský technik**  
Téma: **Reflexní optoelektrická závora**  
**Reflective Opto Electric Doorframe Bar**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou optoelektrických závor.
2. Návrh a realizace reflexní optoelektrické závory s rozeznáním směru pohybu s umístěním ve dveřním rámu.
3. Návrh a testování umístění optoelektrické závory ve dveřním rámu pro rozeznání směru pohybu.
4. Návrh a realizace zařízení pro automatické vyhodnocení směru pohybu sledované osoby prostorem dveřního rámu.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

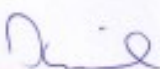
- [1] ENDERLE, John D., Joseph D. BRONZINO and Susan M. BLANCHARD. *Introduction to Biomedical Engineering*. Boston: Elsevier Academic Press, c2005. xxi, 1118 s. ISBN 978-0-12-238662-6.  
[2] *Body Sensor Network*. Editor Guang-Zhong YANG. London: Springer, 2006. xxviii, 493 s. ISBN 978-1-84628-272-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Černý, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2014

  
doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

#### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny zdroje, literární prameny a publikace, ze kterých jsem při vypracování práce čerpal.

V Ostravě, dne 7. května 2014

9. Holčík

#### **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Martinu Černému, Ph.D. za pomoc, odborné rady a cenné připomínky při zpracování této práce.

## **Abstrakt**

Zadáním této bakalářské práce je návrh a realizace optoelektronické reflexní závory, která pomocí zaznamenaných výsledků dokáže vyhodnotit a rozpoznávat směr pohybu procházející osoby dveřním rámem. Teoretická část této práce obsahuje především informace o optickém záření, důležité parametry optických závor a detailnější rozbor optických vysílačů a detektorů. Praktická část už je soustředěna na samotný návrh a realizaci optoelektronické závory. Elektrická schémata a schémata plošných spojů vysílacích a detekčních částí závory byly navrženy pomocí programu Eagle. Pro vyhodnocení signálů byl použit mikrokontrolér firmy Atmel typu ATMEGA2560, který je hlavní řídicí jednotkou platformy Arduino Mega 2560. Mikroprocesor Arduina byl naprogramovaný pomocí jeho originálního jazyku Wiring k vyhodnocení směru pohybu a zápisu tohoto výsledku na zobrazovací jednotku počítače pomocí sériového přenosu. Jako zobrazovací prostředí je použita aplikace pro obsluhu sériového portu terminál Hercules Setup.

## **Klíčová slova**

IR LED, IR detektor, Arduino, Terminál sériového portu

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with design and execution of reflective optoelectronic doorframe bar, which is able to detect and analyse passing object's direction of movement through the doorframe. Main objective of theoretical part is to acquaint with information about optical radiation, essential features of optical bars and in-depth analysis of optical transmitters and detectors. Practical part is therefore focussed on the design and the execution itself. Electric schemes and printed circuit board schemes of emitting and detection bar parts have been designed using Eagle software. Atmel's ATMEGA2560 microcontroller was used as the primary signal analysis control unit of the Arduino Mega 2560 platform. Arduino microprocessor was designed using it's original Wiring processing language for movement direction analysis and subsequently for reflecting the results on computer display unit using serial communication. For operating with serial port was chosen terminal Hercules Setup software.

## **Key words**

IR LED, IR detector, Arduino, Serial port terminal

## Seznam použitých zkratek a symbolů:

IR záření	InfraRed – Infračervené záření
LED	Light Emitting Diode - svítivá dioda
AKO	Astabilní klopný obvod
$\mu\text{P}$	Mikroprocesor
$\lambda$	Vlnová délka
DPS	Deska plošných spojů
R	Rezistor
C	Kondenzátor
PWM	Pulse Width Modulation – Pulsně šířková modulace

# Obsah

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OPTOELEKTRONIKA A ZÁKLADNÍ POJMY.....</b>	<b>2</b>
2.1 Optické záření .....	2
2.2 Zdroj optického záření .....	2
2.2.1 Elektroluminiscenční LED diody (Light Emitting Diode) .....	3
2.3 Fotodetektory .....	3
2.3.1 Typy fotodetektorů .....	4
2.3.1.1 Fotorezistory .....	4
2.3.1.2 Fotodiody .....	5
2.3.1.3 Fototranzistory .....	6
<b>3. OPTOELEKTRICKÁ ZÁVORA .....</b>	<b>7</b>
3.1 Druhy optoelektronických závor .....	8
3.1.1 Jednocestné světelné závory .....	8
3.1.1.1 Výhody jednocestných světelných závor .....	9
3.1.1.2 Nevýhody jednocestných světelných závor .....	9
3.1.2 Reflexní světelné závory .....	9
3.1.2.1 Reflexní závory s polarizačním filtrem .....	10
3.1.2.2 Výhody reflexních světelných závor .....	10
3.1.2.3 Nevýhody reflexních světelných závor .....	10
<b>4. NÁVRH REFLEXNÍ OPTOELEKTRICKÉ ZÁVORY ROZEZNÁVAJÍCÍ SMĚR POHYBU.....</b>	<b>11</b>
4.1 Výběr použitých vysílačů / přijímačů a zdroje rušení .....	11
4.1.1 Zdroj IR záření .....	13
4.1.2 IR přijímač .....	13
4.2 Arduino Mega 2560 .....	14
4.2.1 Příjem dat v PC .....	14
4.3 Návrh vysílacího obvodu reflexní optoelektronické závory .....	15
4.4 Návrh přijímacího obvodu reflexní optoelektronické závory .....	18
4.5 Návrh a realizace softwaru reflexní optoelektronické závory .....	18
4.5.1 Analýza sledovaných stavů .....	19
4.5.2 Testování umístění optozávory ve dveřním rámu .....	20
4.5.3 Návrh programu pro vyhodnocení směru pohybu .....	27
4.5.4 Realizace programu pro vyhodnocení směru pohybu .....	28
<b>5. TESTOVÁNÍ OPTOELEKTRICKÉ ZÁVORY VE DVEŘNÍM RÁMU.....</b>	<b>31</b>
<b>6. ZÁVĚR.....</b>	<b>32</b>
<b>7. POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>34</b>
<b>8. PŘÍLOHY .....</b>	<b>35</b>

# 1. Úvod

Cílem bakalářské práce je navrhnout a zrealizovat reflexní optoelektronickou závora, pomocí které je možno určit směr pohybu osoby procházející dveřním rámem.

Optická závora sama o sobě dokáže zaznamenat pouze průchod otvorem, jelikož cílem mé práce je také vyhodnotit i směr tohoto průchodu, je nutností zkonstruovat optozávoru dvojitou. Samotná optická závora se skládá vždy z přijímače a vysílače, proto v této práci jsou detekční a vysílací prvky obsaženy dvakrát.

Základ práce stojí na vhodném navržení těchto prvků, jejich správném sestrojení a využití sériového přenosu pro komunikaci s počítačem, který vyhodnocený výsledek zobrazí.

Princip vysílání a detekování signálu musí být reflexní. To znamená, že dva páry vysílačů a přijímačů budou umístěny vedle sebe na jedné straně dveřního rámu. K detektorům se vysílané signály dostanou až poté, co dojde k průchodu otvorem a signály (ve formě infračerveného záření) se odrazí přímo od procházející osoby k přijímačům. Tyto odražené signály potom budou vyhodnocovány podle stavů navrhnutého algoritmu, pomocí kterého je naprogramován mikroprocesor. Následně posledním krokem bude přenos těchto vyhodnocených stavů mikroprocesorem, poslán na vzdálenou zobrazovací jednotku počítače, kde bude zobrazen výsledek směru pohybu osoby dveřním rámem.

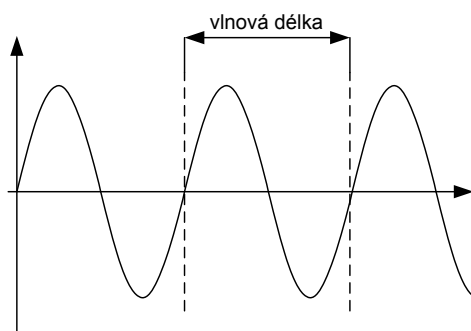
## 2. Optoelektronika a základní pojmy

Optoelektronika je technický obor, zabývající se metodami zpracování elektrického a optického signálu. Týká se především přístrojů a zařízení, která dokážou emitovat či modulovat optické záření, nebo jej využít pro svou vlastní vnitřní funkci.

Základem tohoto oboru se považuje prvek nazývaný optron nebo-li v podstatě fotonický měnič. Tento prvek obsahuje zdroj optického záření, fotoelektrický detektor a prostředí mezi nimi, kterým záření prochází. [8]

### 2.1 Optické záření

V optoelektronice se optické záření podílí v jakékoliv formě na přenosu či zpracování informace. Toto záření je vysíláno jako energie ve formě elektromagnetických částic fotonů či vln. Zahřáté částice se zbavují energie vyzařováním právě optického záření, kdy s rostoucí teplotou rychle roste i jeho množství a zároveň klesá vlnová délka. Právě citlivost na vlnové délce určuje, zda-li záření dokážeme vidět i pouhým okem či nikoli. Vlnová délka sama o sobě označuje vzdálenost dvou nejbližších bodů vlnění, které kmitají ve fázi. Značí se řeckým písmenem lambda  $\lambda$ . [1]



Obr.1: Vlnová délka

Vliv optického záření může mít pozitivní i negativní účinky. Proto je nezbytně nutné nejprve zajistit přiměřené expozice optickému záření.

### 2.2 Zdroj optického záření

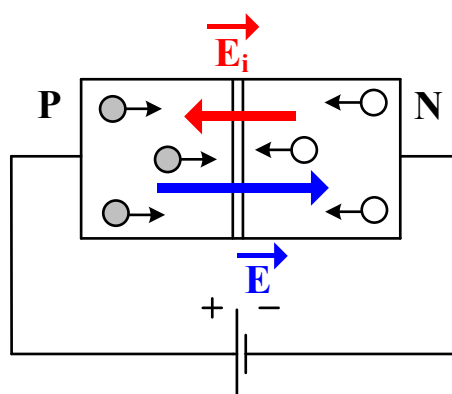
Mezi zdroje optického záření patří také objekty, v nichž dochází k přeměně různých forem energie na energii elektromagnetického záření, v optické oblasti elektromagnetického spektra. Zdroje záření existují umělé i přirozené. K přirozeným zdrojům patří například Slunce, hvězdy a podobně. Tato práce však pojednává především o umělých zdrojích záření a to hlavně o elektroluminiscenčních LED diodách.



### 2.2.1 Elektroluminiscenční LED diody (Light Emitting Diode)

Elektroluminiscenční LED diody se v posledních letech rozšířily snad do všech nejrůznějších oblastí techniky. A to především kvůli neskutečně rostoucí světelné účinnosti těchto LED, které se už začínají srovnávat dokonce i s halogenovými žárovkami. Zároveň je velkou výhodou dostupnost a cena, která neustále klesá díky celosvětové hromadné výrobě.

LED je elektronický prvek (součástka), jehož úkolem je generování světelného záření polovodičovým P-N přechodem při průchodu proudu. Na PN přechod je přivedeno napětí v propustném směru a dochází k injekci elektronů do P oblasti a naopak děr do oblasti N. Následně v tomto přechodu dochází k rekombinaci elektronů s dírami, a kvůli zaplavení PN přechodu nosiči nábojů začne klesat odpor, a tím začne docházet k uvolňování energie ve formě fotonů. [2]

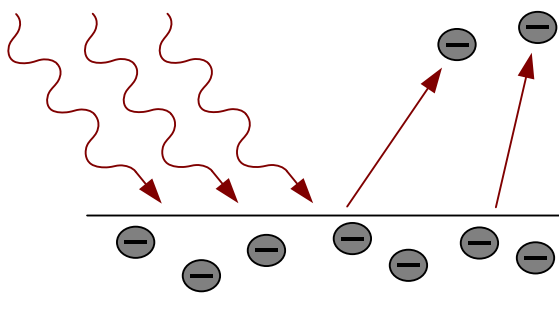


Obr.2: Funkce PN přechodu

## 2.3 Fotodetektory

Fotodetektory se používají především, jako optické přijímače převádějící světlo na elektrickou energii, která je potom dále zpracovávána. Tento princip se nazývá fotoelektrický jev.

Fotoelektrický jev, nebo-li fotoefekt je fyzikální jev, kdy dochází k rozkmitání elektronů v látce (nejčastěji kovu), díky oscilujícímu elektrickému poli dopadajícího elektromagnetického záření. Ve zkratce, jsou tyto elektrony postupně uvolňovány z kovu v důsledku jeho ozáření. Tyto elektrony se nazývají fotoelektrony.



Obr.3: Fotoelektrický jev

Fotodetektory mají sami o sobě spoustu parametrů, které se musí zohlednit při jejich výběru. Mezi tyto vlastnosti především patří:

- minimální šum
- vysoká stabilita
- co největší možná citlivost v intervalu vlnových délek
- minimální odezva pro získ dostatečné šířky pásma
- malé rozměry
- vysoká spolehlivost
- dlouhá životnost
- nízké náklady

### 2.3.1 Typy fotodetektorů

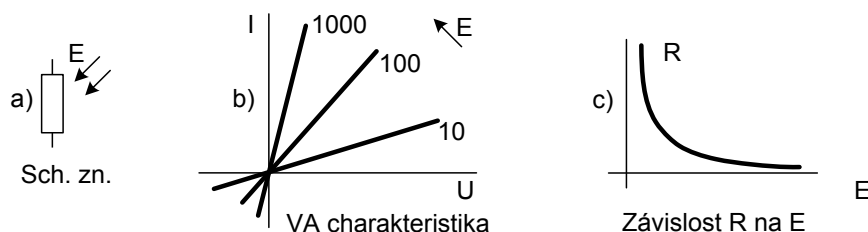
Na základě různě vhodných vlastností, jsou nejpoužívanějšími fotodetektory:

- Fotorezistory
- Fotodiody
- Fototranzistory

#### 2.3.1.1 Fotorezistory

Fotorezistory, jinak dříve označovány taky jako Fotoodpory, jsou pasivními elektronickými součástkami bez přechodu PN. Hlavní funkcí této součástky je závislost, kdy se elektrický odpor snižuje se zvyšující se intenzitou dopadajícího záření, respektive se zvyšuje elektrická vodivost.

Základním principem fotorezistoru je vnitřní fotoelektrický jev, kdy záření(foton) předá svoji energii elektronu ve valenční sféře, do které naráží. Díky tomu získá elektron dostatek energie k překonání zakázaného pásu a přeskočí do pásu vodivostního. Jelikož elektron opustil svůj vlastní atom, začne se volně pohybovat prostorem krystalové mřížky. Na jeho původním místě tedy vznikla díra, tj. defektní elektron. Pomocí těchto elektronů se postupně snižuje elektrický odpor nebo-li se také zvyšuje elektrická vodivost. Z toho vyplývá, že čím více světla na fotorezistor dopadne, tím dosáhne větší elektrické vodivosti.



**Obr. 4:** a) Schématická značka fotorezistoru, b) VA charakteristika fotorezistoru, c) Závislost odporu na intenzitě osvětlení

Výhody fotorezistorů:

- jelikož fotoodpor pracuje nezávisle na směru proudu, můžeme ho aplikovat pro střídavé i stejnosměrné obvody
- značná citlivost
- jednoduchost použití
- nízké náklady

Nevýhody fotorezistorů:

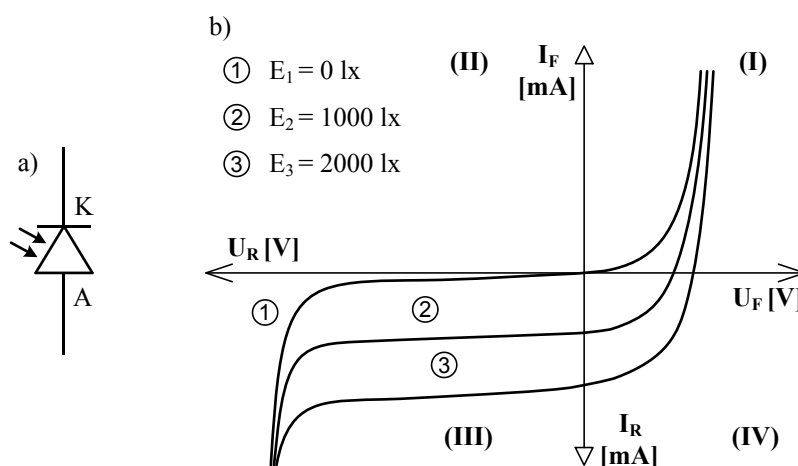
- znatelná teplotní závislost
- může nastat dlouhá doba odezvy, z důvodů rychlého střídání osvětlení a tmy
- krátká životnost

### 2.3.1.2 Fotodiody

Fotodiody jsou plošné polovodičové součástky s PN přechodem. Pokud tento přechod není osvětlen, tak má fotodioda stejnou voltampérovou charakteristiku jako úplně běžně používaná dioda. Pokud však naopak záření dopadne na PN přechod, pak v závěrném směru diody začne lineární růst anodového proudu, který je na intenzitě osvětlení závislý.

Fotodioda má velice rychlou reakční dobu na změnu osvětlení, řádově to jsou mikrosekundy až nanosekundy.

Princip fotodiody je stejně jako u fotorezistoru založen na fotoelektrickém jevu.



**Obr. 5:** a) Schématická značka fotodiody  
b) VA charakteristika fotodiody při různém osvětlení

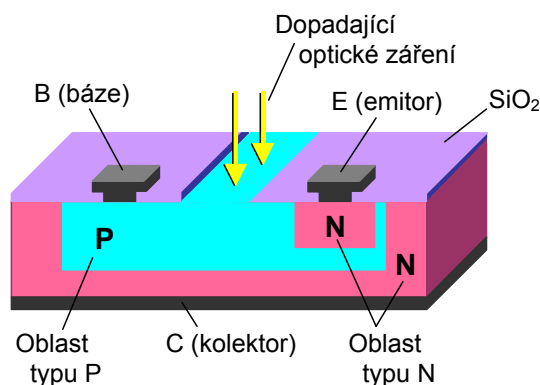
Na obrázku č.5 je charakteristika fotodiody, která prochází třemi kvadranty(I, III, IV), přičemž ty důležité jsou pouze kvadranty č.III a IV.

V třetím kvadrantu fotodioda pracuje v tzv. odporovém režimu a chová se jako fotorezistor. Ve čtvrtém kvadrantu fotodioda pracuje v tzv. hradlovém (fotovoltaickém) režimu, kde se chová jako zdroj elektrické energie.

### 2.3.1.3 Fototranzistory

Posledním z nejčastěji používaných fotodetektorů jsou fototranzistory, jejichž vlastnosti a parametry jsou uvedeny níže.

Fototranzistor je aktivní polovodičová součástka, která pracuje vždy s řízenými dvojicemi přechodů. Fototranzistor je vlastně obdobou běžného klasického tranzistoru, s tím rozdílem, že přechod je ovládán světelným zářením.

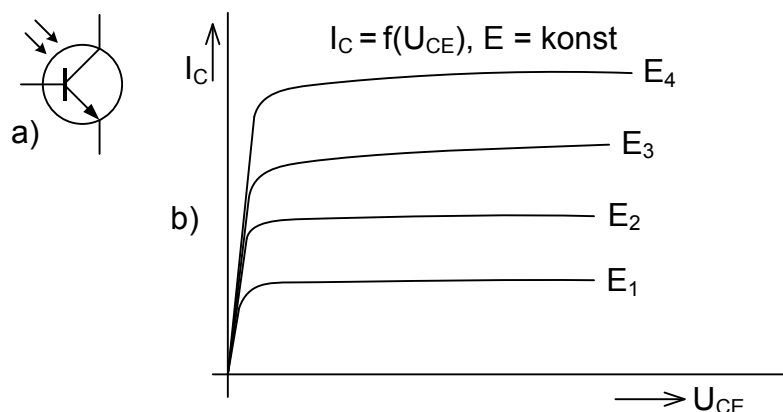


**Obr. 6:** Princip uspořádání fototranzistoru

Na obrázku č.6 je vyzobrazena konstrukce fototranzistoru, kde dopadající optické záření je pohlcováno v oblasti báze. Pro lepší představu je fototranzistor, jako klasický tranzistor, který má ve své bázi umístěnou fotodiodu. Stejně jako u fotodiody, i tady dochází ke generaci elektron-děrových párů vlivem pohlcovaného optického záření v oblasti báze.

Princip fototranzistoru spočívá v tom, že pomocí osvětlení se otvírá jeho emitorový přechod, čímž se zvětší počet uvolněných nosičů úměrně s osvětlením a následně je zesílen jako proud báze.

Voltampérové charakteristiky vypadají obdobně, jako výstupní charakteristiky bipolárního tranzistoru viz. obr č.7.



**Obr. 7:** a) schématická značka fototranzistoru,  
b) VA charakteristika fototranzistoru v závislosti na osvětlení

### 3. Optoelektrická závora

Optoelektronické závory patří k jedním z nejpoužívanějších prostředků pro detekci předmětu v oblastech kontrolní, řídicí techniky a ve výrobních procesech automatizace. Jako u většiny technologických prostředků i v této oblasti existuje více typů optoelektronických závor, ale těmi zásadními jsou závory reflexní a jednocestné. Optoelektronické závory spínají pomocí reakce na změnu intenzity osvětlení paprsku mezi vysílačem a přijímačem. Tato změna nastává při zalcenění cílovým objektem, nebo v některých případech při odražení paprsku od cílového objektu k přijímači. Jak už bylo zmíněno, tak nejčastějším typem vysílačů jsou zejména luminiscenční LED diody, které plní funkci přeměny různých forem energie na energii elektromagnetického záření v optické oblasti elektromagnetického spektra. U přijímačů to bývají především fototranzistory, které mohou v signalizačních zařízeních plnit funkce např.: požárního hlásiče, nebo v řídicích a měřicích aplikacích pomocí něj můžeme řídit osvětlení.

V tabulce č.1 jsou zaznamenány odolnosti různých druhů senzorů proti rušení, kdy znaménka „+“, 0, „-“ nám označují velikost odolnosti.

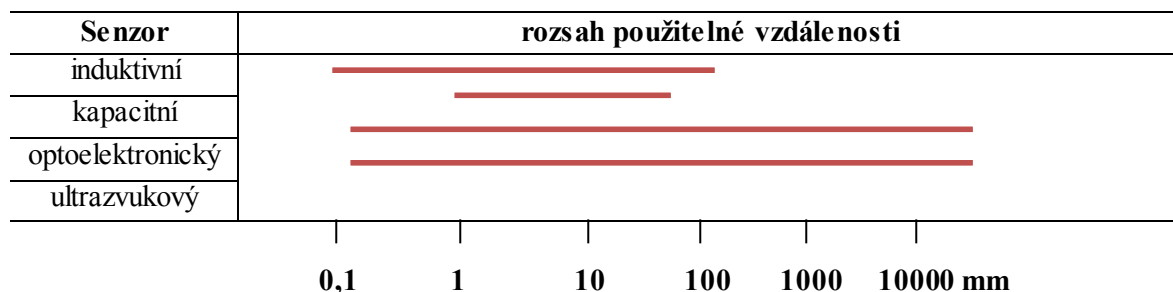
V tabulce č.2 jsou dosahy různých druhů senzorů v milimetrech.

**Tab. 1:** Odolnosti různých druhů senzorů proti rušení

Senzor	Teplota	Vlhkost	Prach	Světlo/infrač. záření	Hluk	Vysokofrek. elmg. pole
Induktivní	+	+	+	+	+	0
Kapacitní	+	0	0	+	+	-
Optoelektronický	0	-	0	-	+	+
Ultrazvukový	0	+	+	+	-	+
Vysvětlivky:	+ vysoká, 0 střední, - nízká					

[3]

**Tab. 2:** Dosahy různých druhů senzorů



[3]

## 3.1 Druhy optoelektronických závor

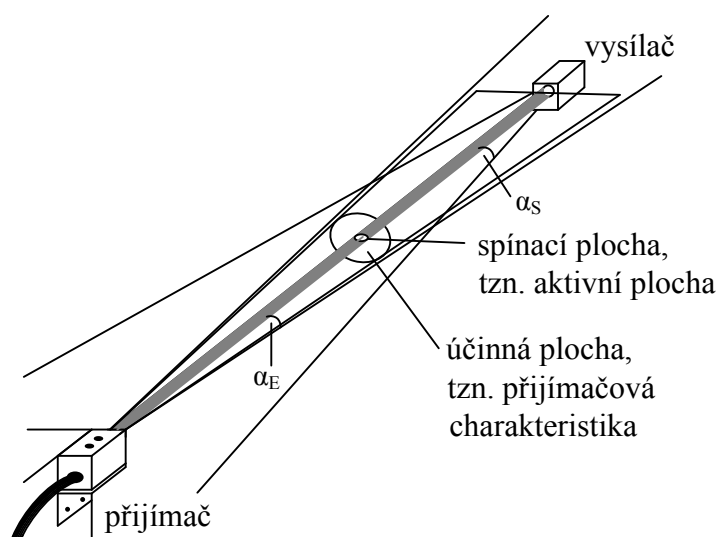
Optoelektrických závor jsou čtyři hlavní druhy:

- Jednocestné světelné závory
- Reflexní světelné závory
- Reflexní světelné snímače
- Senzory se světlovody z optických vláken

### 3.1.1 Jednocestné světelné závory

Montáž jednocestných světelných závor je velice jednoduchá, viz. níže obrázek č.8. Vysílač se montuje v optické ose proti přijímači, aby se dosáhlo největší provozní rezervy. Při přerušení paprsku neurčitým objektem se změní elektrické vlastnosti fotodetektoru (např.: fototranzistoru). Taky je potřeba zdůraznit, že pro detekování objektu je zapotřebí úplného přerušení paprsku. To znamená, že je potřeba, aby objekt měl minimálně takovou velikost, jako je aktivní zóna dané jednocestné světelné závory.

Na obrázku č.8 jsou znázorněny vysílací a přijímací charakteristiky této jednocestné závory.



**Obr. 8:** Zobrazení vysílací-přijímací charakteristiky jednocestné světelné závory

$\alpha_S$  – úhel otevření vysílače

$\alpha_E$  – úhel otevření přijímače

### 3.1.1.1 Výhody jednocestných světelných závor

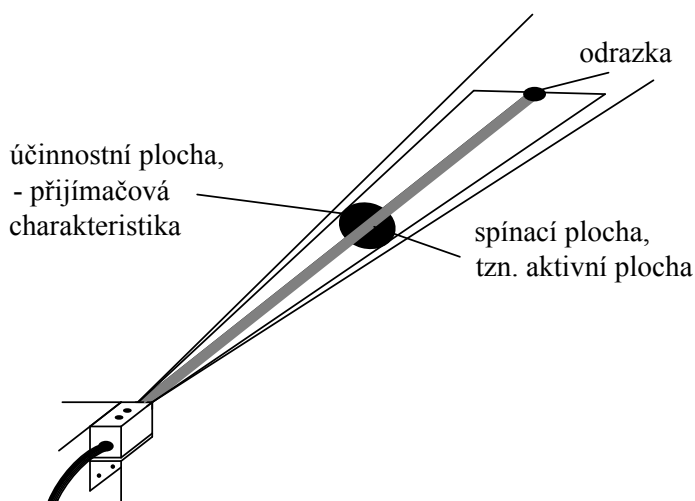
- výrazně větší dosah než jiné optické závory a snímače přiblížení (až 350 metrů)
- nižší vliv okolního rušení
- odstranění vlivu velké odrazivosti povrchu detekovaného předmět
- velký pracovní rozsah podél celé optické osy
- přesný spínací bod podél celé optické osy
- jisté rozpoznání neprůhledných předmětů

### 3.1.1.2 Nevýhody jednocestných světelných závor

- nejisté rozpoznání průhledných předmětů
- pro spolehlivou funkci je nezbytné přesné nastavení
- nutnost nainstalovat a zapojit dva oddělené přístroje (vysílač, přijímač)
- je dražší oproti reflexnímu senzoru s odrazkou
- zabírání většího prostoru
- větší náklady na instalaci
- složitější instalace a seřizování

## 3.1.2 Reflexní světelné závory

Reflexní optické závory pracují na stejném principu, jako závory jednocestné. Hlavním rozdílem je, že vysílač spolu s přijímačem nejsou instalovány samostatně, ale jsou umístěny vedle sebe v jednom pouzdře a vysílaný paprsek se pomocí tzv. odrazky umístěné na protější straně odrazí zpět do přijímače, viz. obrázek č.9. Odrazka musí být proti závoře umístěna v určité vzdálenosti, která záleží na typu reflexní světelné závory. Stejně jako u přechodového typu závory, je i zde vyhodnocováno přerušení paprsku mezi vysílačem a přijímačem. [3]

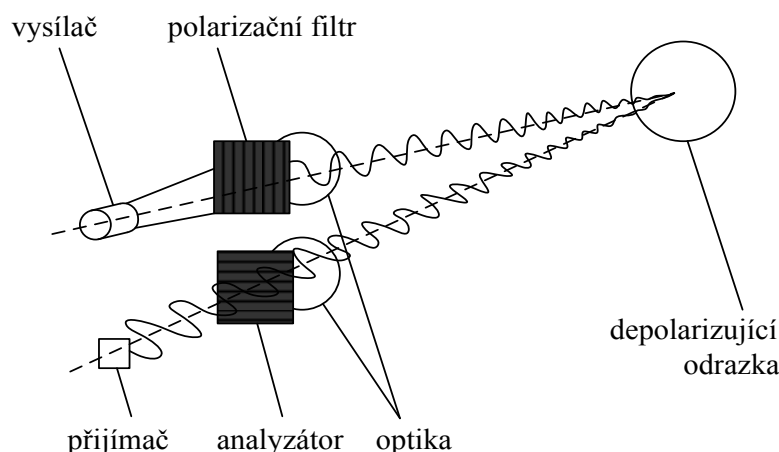


**Obr. 9:** Přijímací charakteristika reflexní světelné závory

### 3.1.2.1 Reflexní závory s polarizačním filtrem

Reflexní závory s polarizačním filtrem se užívají především pro detekování zrcadlicích se předmětů. U tohoto druhu reflexní závory je světlo z vysílače šířeno všemi směry. Když paprsek projde polarizačním filtrem, tak ve světelném svazku zůstanou pouze ty paprsky, které mají jediný směr polarizace se společnou polarizační rovinou. Pomocí filtru je určen směr polarizační roviny. Pokud tedy bude filtr natáčen, tak se bude naklánět u procházejícího světla i polarizační rovina. Tyto polarizační filtry se používají především v případech, kdy by mohlo dojít k odrazu od lesklého povrchu zpátky do přijímače. V takovém případě by mohl nastat problém v podobě nevyhodnocení přerušeného paprsku. Právě proto nám polarizační filtry zajišťují, že i když by světlo dopadlo na zrcadlicí se předmět, tak paprsek k přijímači neprojde. Pokud by však světlo dopadlo na nepolarizující odrazky, tak by bylo odvráceno o  $90^\circ$  a druhým polarizačním filtrem by prošlo k přijímači.

Polarizační filtr je umístěn jak před vysílač, tak i před přijímač, kdy detektorový filtr je o  $90^\circ$  otočen před filtrem vysílače, jak lze vidět na obrázku č.10. [3]



**Obr. 10:** Princip reflexní závory s polarizačním filtrem

### 3.1.2.2 Výhody reflexních světelných závor

- vysílač a přijímač tvoří kompaktní celek
- velice jednoduchá montáž odrazek
- bezpečné rozpoznání zrcadlicích se předmětů
- bezpečné rozpoznání neprůhledných předmětů
- přesné rozpoznání objektů podél celé optické osy

### 3.1.2.3 Nevýhody reflexních světelných závor

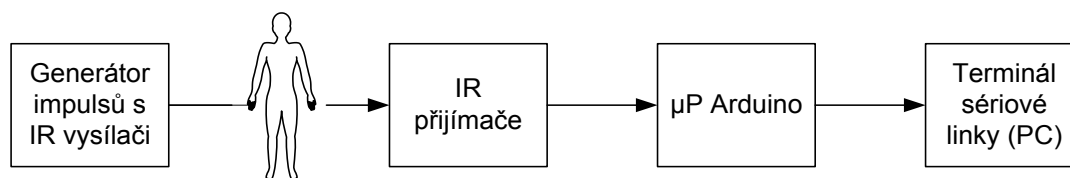
- střední dosah je asi poloviční oproti dosahu jednocestné světelné závory, a to z důvodů vrácení se paprsku do místa, z kterého byl vyslán
- nejisté rozpoznání transparentních předmětů



## 4. Návrh reflexní optoelektrické závory rozeznávající směr pohybu

V této kapitole je popsán návrh a postup řešení, výběr vhodných přijímačů a vysílačů součástek, testování umístění závory ve dveřním rámu a samotná realizace reflexní optoelektronické závory.

Základem celé funkce bylo správné navržení obvodů dvou párů vysílač-přijímač optoelektrické závory. Tyto párové prvky museli být kvůli reflexivitě umístěny vedle sebe, tak aby směr procházející osoby dveřním rámem byl správně vyhodnocen pomocí vhodně naprogramovaného mikroprocesoru, který je připojenou součástí závory. Vyhodnocené výsledky následně mikroprocesor posílá pomocí sériové komunikace do počítače, kde software (použitý terminál) vyhodnocený stav zobrazí. Blokové schéma navržené reflexní optozávory je zobrazeno na obr. 11.



Obr. 11: Blokové schéma reflexní optozávory

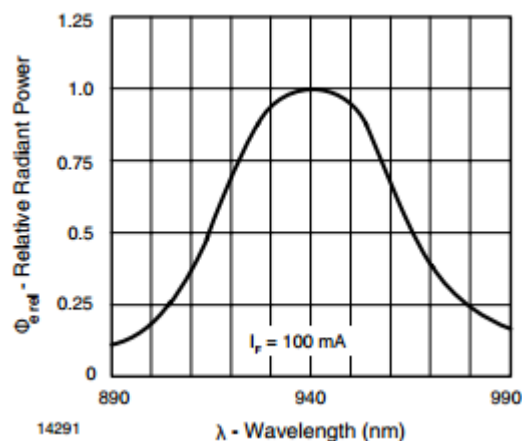
### 4.1 Výběr použitých vysílačů / přijímačů a zdroje rušení

Kritickými místy IR přenosového systému jsou právě vysílací a přijímací bloky, kdy záření je vždy vysíláno v určitém úhlu a vyzářovaný výkon na jednotku plochy se vzdáleností začne prudce klesat.

Proto výběr těchto součástek patří k důležitým bodům této práce, od kterých se dále odvíjejí návrhy schémat vysílačů a přijímačů částí. Při užití běžných součástek totiž nemohla být zajištěna alespoň minimální reflexní vzdálenost vysílaného signálu, která by procházející osobu v dveřním rámu vůbec dokázala detekovat.

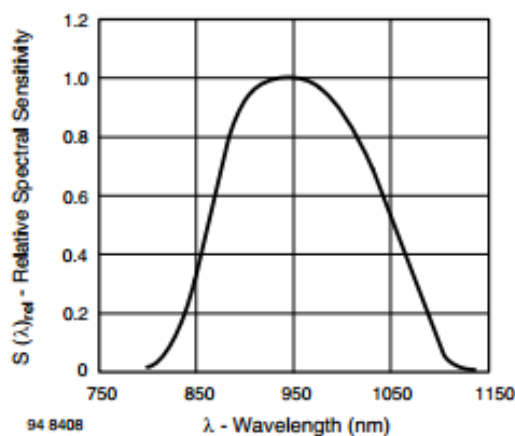
K zajištění co nejlepšího přenosu na reflexní vzdálenost musí mít vysílací dioda co největší možný výkon, nebo-li co nejlepší intenzitu záření. Bohužel, ani tato vlastnost nelze jednoduše vybrat, protože vždy dochází k omezení maximálního protékajícího proudu IR diodou.

Dalším důležitým faktorem při výběru těchto součástek je už na začátku zmiňovaná vlnová délka. Je skoro nutností, aby detektor IR záření měl co nejbližší citlivost na vyzářovaný signál z vysílače. Vhodnost součástek vybraných v této práci si lze ověřit na obr. 12,13, kde jsou vidět grafy závislosti použité z katalogových listů konkrétních součástek. Na obr. 12 lze vidět, že použita vysílací dioda vyzářuje nejvíce energie na vlnové délce 940nm, tak stejně jako na obr. 13, kdy zase na stejné vlnové délce je použitý přijímač nejcitlivější.



**Obr. 12:** Závislost vyzařované energie  $\Phi_e$  na vlnové délce  $\lambda$  vybraného IR vysílače TSAL5100

[9]



**Obr. 13:** Závislost rozsahu citlivosti  $S_{rel}$  na vlnové délce  $\lambda$  vybraného IR přijímače TSOP31238

[10]

Další z velkých nároků na přijímač je jeho odolnost proti rušení, při přenosu dat ve volném prostoru. Detektor čekající na přijímaný signál bývá zaplavován všemi možnými optickými či elektromagnetickými rušeními, které mohou být přítomny ať už v daném prostoru (prostředí) či rušením, které samo elektrické zařízení generuje. Zdrojem rušení mohou ovšem být i jakékoliv výkonové modulované signály, které se pohybují v pracovní frekvenční oblasti detektoru a také různé zdroje viditelného světla. Proto vybrané detektory pro tuto práci obsahují také pouzdro s čočkou, které by mělo co nejúčinněji omezit vliv právě viditelného světla.

### 4.1.1 Zdroj IR záření

Pro detekci pohybu bylo vybráno IR záření, které je pro lidské oko neviditelné.

Infračervené záření je elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou od 760nm až po 1mm. Toto záření se díky vlnové délce pohybuje mezi obyčejným viditelným světlem s vlnovou délkou přibližně 390-750nm a mikrovlnami o vlnové délce od 1mm do 1m.

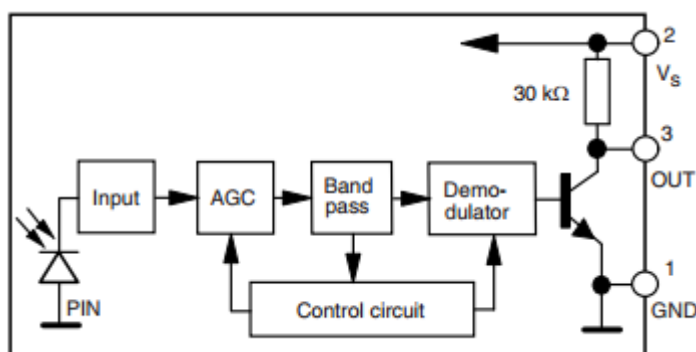
V práci bylo otestováno, jako zdroje IR záření větší počet diod, z kterých byla následně vylučovací metodou vybraná ta nejvhodnější. Mezi tyto diody patřily například typy: SFH485-2, IR940, TSAL 6200(6400). Postupně ovšem s rostoucím problémem dosahu záření, musela být zpřísněna i kritéria výběru vysílače. Proto pro realizaci vysílacího obvodu byla vybrána infračervená dioda TSAL5100 a to především kvůli následujícím potřebným vlastnostem:

- stejná vlnová délka jako u přijímače  $\lambda_p = 940\text{nm}$  (viz. obr. 12,13)
- vyzařovací úhel pouhých  $\varphi = \pm 10^\circ$
- vysoký optický výkon
- dosah
- přiměřená cena

### 4.1.2 IR přijímač

Pro příjem IR záření jsou použity součástky TSOP31238. Jedná se o už hotové přijímače, které se primárně užívají v digitálních ovladačích, nebo k ovládání jednoduchých hraček a modelů. Výhodou těchto součástek je vysoká citlivost na IR záření s přesnou vysílací frekvencí, v tomto případě 38kHz. Proto byly konstruovány vlastní obvody generující IR záření s vysílací frekvencí 38kHz.

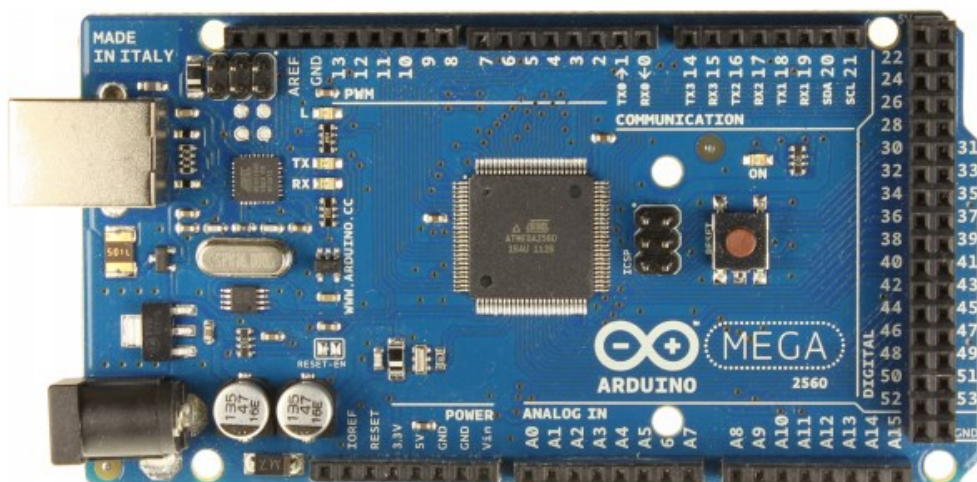
- obsahuje citlivý PIN detektor IR záření s předzesilovačem
- automatické řízení zisku
- pásmový filtr (pásmová propust viz. Obr. 14)
- demodulátor s TTL výstupem
- vlnová délka společná s vysílačem  $\lambda_p = 940\text{nm}$
- dosah



Obr. 14: Blokový diagram IR přijímače TSOP31238

[10]

## 4.2 Arduino Mega 2560



**Ob. 15:** Vývojová deska Arduino Mega 2560

[11]

Arduino Mega 2560 disponuje především hlavní řídicí jednotkou, kterou je mikrokontrolér od firmy Atmel s jádrem AVR typ ATMEGA2560-16AU, který se může pochlubit 256kB flash pamětí, 8kB pamětí RAM a 4kB pamětí EEPROM. Celkově AVR mikrokontroléry patří mezi nejpoužívanější osmibitové mikrokontroléry světa. Verze Mega 2560 použitá v této práci obsahuje 54 digitálních vstupů / výstupů, z kterých se může použít 14 pro PWM (Pulsně Šířkovou Modulaci) a 6 pro přerušení. Dále na desce je dalších 16 analogových vstupů, 4 UART, 16 MHz krystalový oscilátor a resetovací tlačítko. Vývojová deska lze pomocí adaptéru napájet 7-12V a nebo po připojení přes USB 5V. Propojitelnost s počítačem tedy jde buď za pomoci zmiňovaného USB kabelu, nebo pomocí RS-232 po použití převodníku úrovně. Programovací jazyk Arduina - Wiring Processing IDE vychází z celosvětového jazyku C/C++.

[12]

### 4.2.1 Příjem dat v PC

Data z vývojové platformy Arduino byly přijímány pomocí sériové linky PC. Pro obsluhu sériového rozhraní byl využit program Terminál Hercules SETUP. Jedná se o volně dostupnou užitečnou aplikaci pro obsluhu sériového portu, TCP/IP protokolu (Klienta nebo Serveru) a UDP protokolu.

Základní vlastnosti:

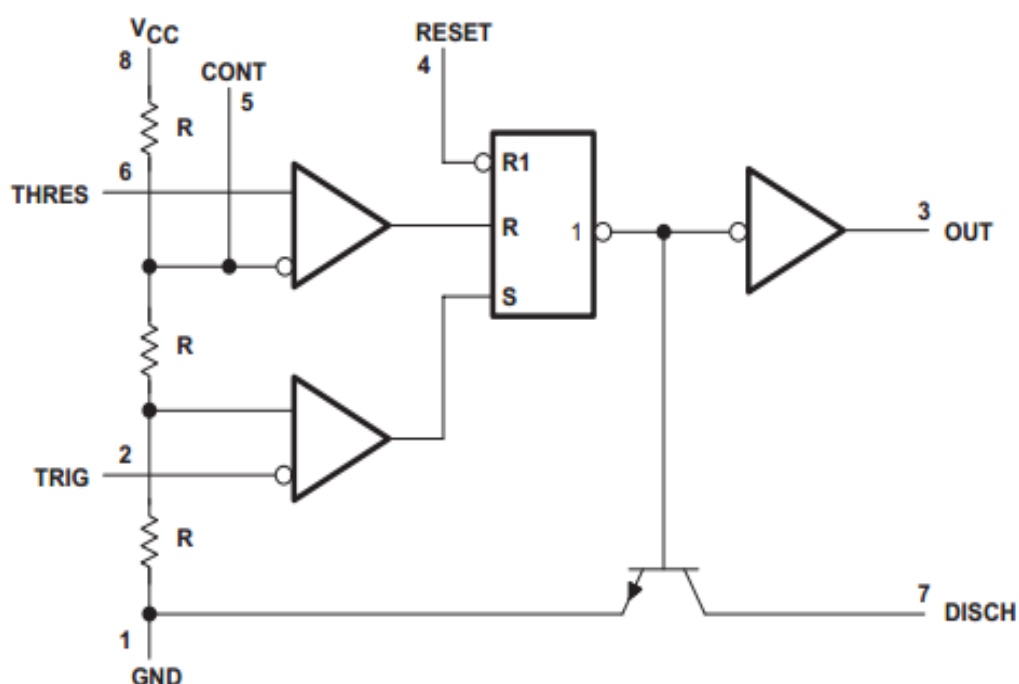
- podpora pro Windows
- základní TCP a UDP utility
- sériový terminál spolupracující s virtuálními sériovými porty
- přehledný a snadno obsluhovatelný TCP klient
- a zmiňovaná freeware verze od firmy HW group

[13]

### 4.3 Návrh vysílacího obvodu reflexní optoelektronické závory

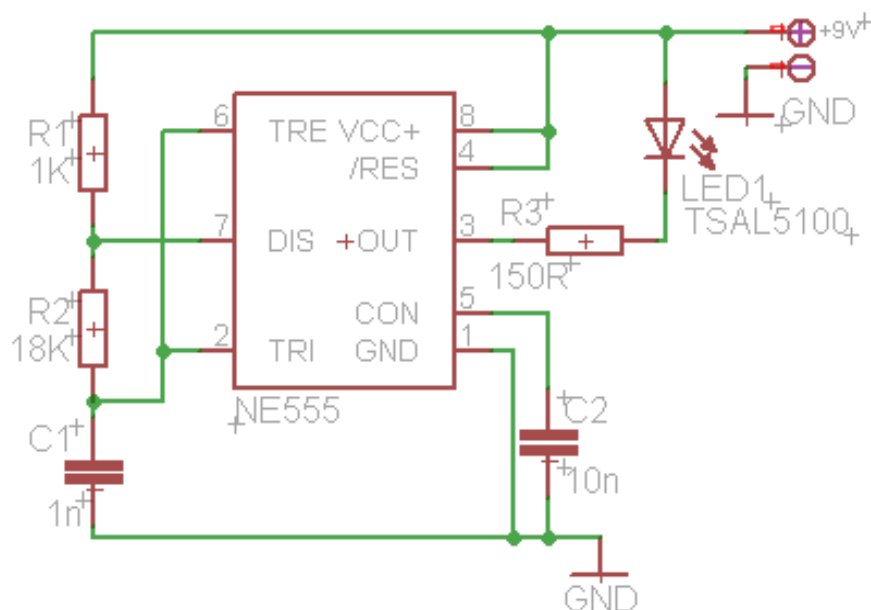
Na Obr. 17 je schéma jednoho z vysílačů funkční optozávory. Tato vysílací část je tvořena pulzním zdrojem obdélníkových kmitů. Základem tohoto zdroje a celého obvodu vysílací části je časovač NE555, zapojeného jako astabilní klopný obvod (AKO).

Časovač NE555 je integrovaný obvod obsahující dva komparátory s jedním výstupním klopným obvodem (Obr. 16). Jeho komparační úrovně jsou odvozené z děliče jako tři odpory o velikosti  $5K\Omega$ , které se nacházejí uvnitř čipu (odtud název NE555). Tento obvod může být napájený 4,5 až 16 Volty a jeho maximální výstupní proud dosahuje až 200mA.



Obr. 16: Funkční blokový diagram NE555

[14]



**Obr. 17:** Schéma jednoho vysílacího prvku IR záření

Astabilní klopný obvod zapojený ve schématu vysílací části působí, že výstupní 3. pin nesetrvá v logickém stavu (tj. 1 nebo 0) delší dobu, jako frekvence kondenzátoru C1.

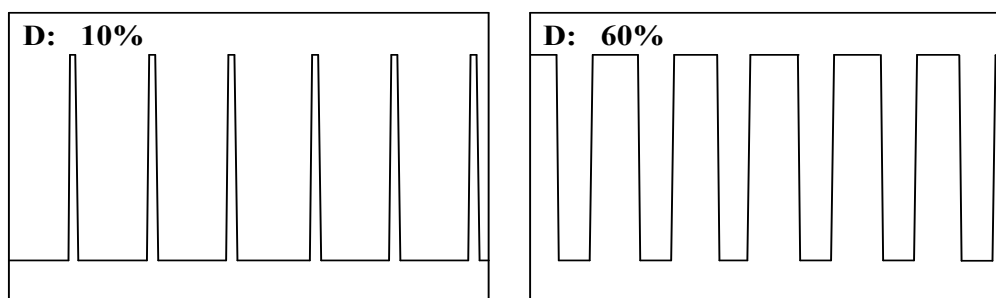
Po připojení obvodu na napájení 9V se kondenzátor C1 vybíjí a na výstupním pinu 3 (OUT) je logická 1. Následně co kondenzátor dosáhne 2/3 hodnoty napájecího napětí, tak pin č.6 (THRESHOLD) přepoklopí vnitřní komparátor časovače a na výstupu bude naopak logická 0. Zároveň se ale v zapojení NE555 otevře vybíjecí tranzistor, který spojí pin č.7 (DISCHARGE) a kondenzátor se začne opět vybíjet. Jakmile kondenzátor dosáhne 1/3 napájecího napětí, opět se na výstupu objeví logická 1. A tato funkce se opakuje stále dokola do doby, než je obvod odpojen od zdroje.

Délka doby nabíjení a vybíjení kondenzátoru je ovšem ovlivněna velikostí kapacity a hodnotami odporů R1 a R2.

Na výstupním pinu 3, kde je umístěna vysílací IR dioda, je k diodě připojen i ochranný odpor o velikosti 150 ohmů, který jednak IR diodu chrání před poškozením, ale zároveň zajišťuje dostatečnou velikost procházejícího proudu diodou, který podle katalogového listu se rovná minimálně 100mA.

Jelikož v této práci jsou vysílací a přijímací desky napájeny pouze bateriemi o velikosti 9V, kdy toto napětí po připojení vždy o něco poklesne, bylo třeba dopočítat a nastavit procentuální střidu (duty cycle) alespoň na 50%, aby se zvětšily vysílané délky pulzů oproti celkové periodě signálu a tím se zvětšil i rozsah vysílané vzdálenosti IR diody.

Duty cycle nebo-li střida, udává u periodických signálů poměr časů, kdy se obdélníkový signál nachází v jednotlivých úrovních.



**Obr. 18:** Ukázka rozdílu vysílaných pulzů při nastavení Duty cycle na 10 a 60%

**Výpočet Duty cycle:**

$$D = \frac{(R_1 + R_2) \cdot C}{(R_1 + 2R_2) \cdot C}$$

Odpory  $R_1$  a  $R_2$  se dopočítávají ze vztahu pro výpočet jednotlivých period  $T_H$  a  $T_L$ , kdy jejich součet udává celou periodu signálu  $T$ . Jelikož je dána nutná frekvence pro nejlepší citlivost přijímače  $f = 38\text{kHz}$ , není problém si zmiňovanou celkovou periodu  $T$  dopočítat. Hodnota kondenzátoru  $C$  byla volně určena.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{38000} = 2,63 \cdot 10^{-5}\text{s} = \underline{26,3\mu\text{s}}$$

Z celkové periody  $26,3\mu\text{s}$  jsou určeny přibližné hodnoty jednotlivých dílčích period  $T_H$  a  $T_L$  ( $T_{\text{HIGH}}$  a  $T_{\text{LOW}}$ ).

$$C = 1\text{nF}$$

$$T_H = 1,35 \cdot 10^{-5}\text{s}$$

$$T_L = 1,28 \cdot 10^{-5}\text{s}$$

$$T_H = 0,693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C$$

$$T_L = 0,693 \cdot R_2 \cdot C$$

Z rovnice pro výpočet velikosti periody  $T_L$  je vyjádřena hodnota odporu  $R_2$ , kterou je nutno dopočítat. Následně bylo zapotřebí odvodit i hodnotu odporu  $R_1$  z rovnice pro výpočet periody  $T_H$ . Výsledné hodnoty odporů v posledním bodě musí být zaokrouhleny na nejbližší odporovou řadu.

$$R_2 = \frac{T_L}{0,693 \cdot C} = \frac{1,28 \cdot 10^{-5}}{0,693 \cdot 1 \cdot 10^{-9}} = 18470,4 \Omega \cong \underline{18 \text{ k}\Omega}$$

$$R_1 = \frac{T_H}{0,693 \cdot C} - R_2 = \frac{1,35 \cdot 10^{-5}}{0,693 \cdot 1 \cdot 10^{-9}} - 18470,4 = 1010,1 \Omega \cong \underline{1 \text{ k}\Omega}$$

Pomocí dopočítaných hodnot odporů  $R_1$  a  $R_2$  se dosazením do rovnice pro výpočet Duty cycle ověří velikost nastavení střídý vysílacího obvodu NE555.

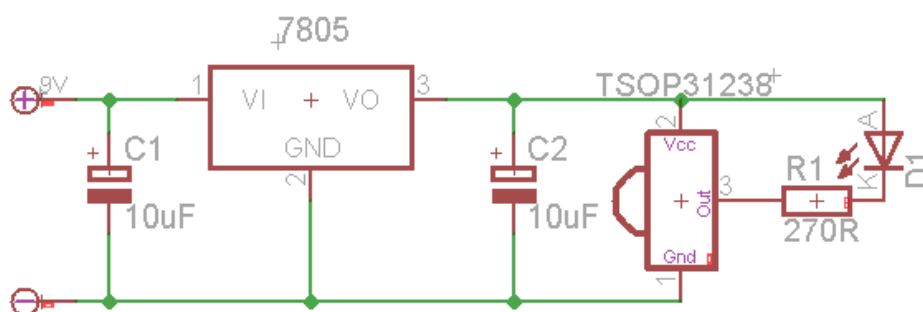
$$D = \frac{(R_1 + R_2) \cdot C}{(R_1 + 2R_2) \cdot C} = \frac{(1000 + 18000)}{(1000 + 2 \cdot 18000)} = 0,51 \cdot 100 = \underline{51\%}$$

## 4.4 Návrh přijímacího obvodu reflexní optoelektronické závory

Základ závory je založen na reflexivitě, což znamená, že přijímací a vysílací prvky jsou umístěny vedle sebe, jak je popsáno v úvodu čtvrté kapitoly. Princip reflexní závory použité v práci není založen na přerušení jakési neviditelné bariéry, kterou tvoří infračervený paprsek vyzařován z vysílače, který je neustále přijímán detektorem čekajícího na přerušení právě tohoto paprsku. Nýbrž tato práce je založena na odražení. To znamená, že vysílané záření z IR diod se k přijímačům odrazí až tehdy, kdy osoba projde dveřním rámem, přesněji řečeno se odrazí přímo od procházející (detekující) osoby.

Schéma přijímací části reflexní optozávory je na Obr. 19. Toto schéma je velice jednoduché a to především díky už hotovému přijímači TSOP31238, který je výše popsán. Stejně jako vysílací obvody jsou i přijímací napájeny 9V baterií. Dle datasheetu součástky přijímače se jeho provozní napájecí napětí pohybuje od 2,5 do 5,5 Voltů, z tohoto důvodu je před hotovým přijímačem umístěn a zapojen stabilizátor 7805. Jedná se o lineární regulátor, který reguluje vstupní napětí baterie 9V na 5V, které dodává dál do obvodu (přijímači). Klasické zapojení stabilizátoru se skládá ze samostatné součástky zapojené v obvodě pomocí dvou blokovacích kondenzátorů  $C_1$  a  $C_2$ . Tyto kondenzátory slouží, jako krátkodobé zdroje energie při rychlé zaznamenané změně zatěžovacího proudu. Kondenzátory se vybíjejí a částečně se tak snaží vykompenzovat krátké snížení proudu, než na jeho změnu zareaguje zdroj. Velikosti hodnot těchto kondenzátorů udává výrobce.

K výstupní části přijímače (OUT) je připojena obyčejná LED dioda s ochranným odporem, aby se dioda nezničila. Tyto LED diody u detektorů pouze indikují příjem signálu z vysílacího prvku pro běžné ověření funkčnosti závory.



Obr. 19: Schéma jednoho přijímače IR záření

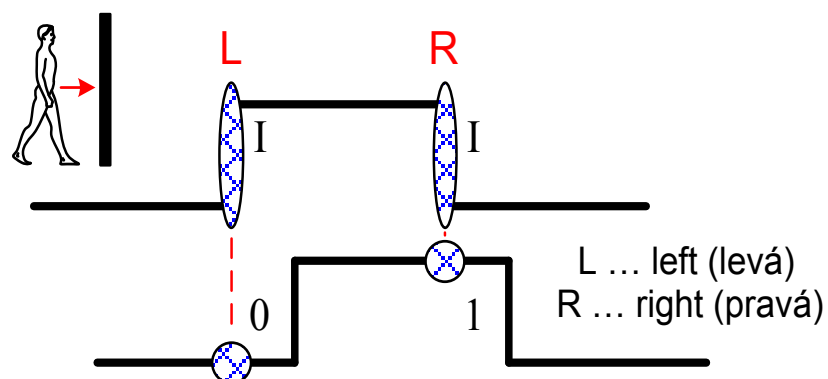
## 4.5 Návrh a realizace softwaru reflexní optoelektronické závory

V této kapitole je podrobněji rozepsaná problematika sledování a vyhodnocení určitých stavů závory. Ukázka a rozbor vývojového diagramu a analýza jednotlivých bloků programu.

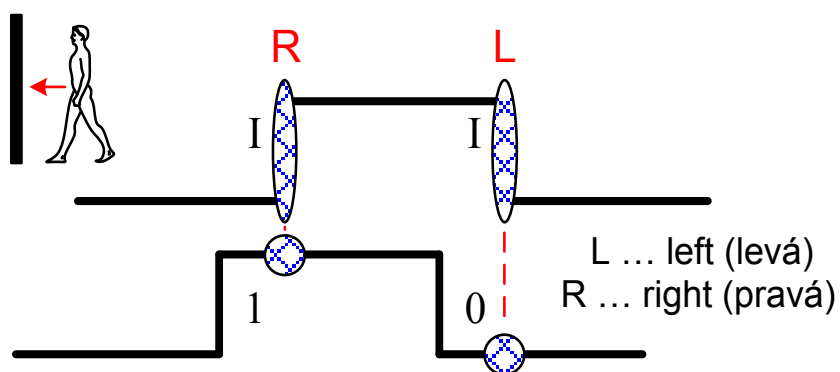
K realizaci programu pro mikroprocesor Arduina ovládající závoru byl použit jeho originální programovací jazyk Wiring.



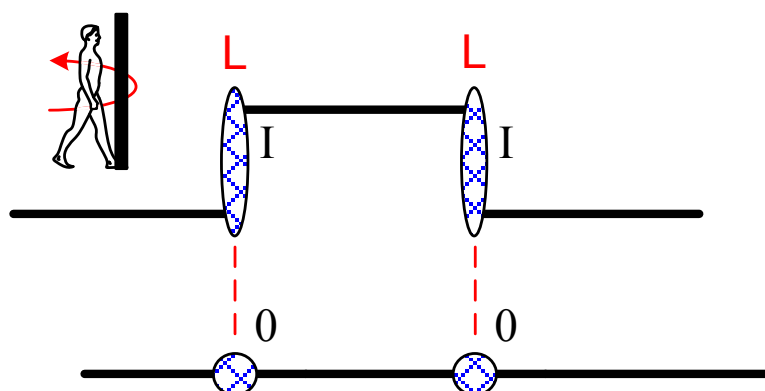
#### 4.5.1 Analýza sledovaných stavů



Obr. 20: Analýza stavu průchodu dveřmi z leva do prava



Obr. 21: Analýza stavu průchodu dveřmi z prava do leva



Obr. 22: Ošetření stavu zastavení ve dveřích a nedokončení pohybu dveřním rámem

Rozeznání směru pohybu procházející osobou dveřním rámem se určí pomocí stavů, které jsou na Obr. 20 a Obr.21. Program pro vyhodnocení směru průchodu je založen na funkci přerušení, kterou nabízí platforma Arduina. Z toho plyne, že výstup z jednoho přijímače detekujícího odražený signál je přiveden na první přerušovací pin 0, který na desce mikrokontroléru má označení 2. Výstup z druhého detektoru je tedy už přiveden na klasický digitální vstup arduina č. 3, kde při přerušení bude zkontrolován jeho stav a následně vyhodnocen směr pohybu.

Na výše uvedených obrázcích přerušení označuje písmeno ‚I‘ z anglického názvu funkce Interrupt. První ze dvou signálů je tedy signál přerušovací, který při každé zaznamenané změně stavu (přerušení), zkontroluje stav signálu druhého a na terminál počítače pošle vyhodnocení o směru průchodu osoby, označeného písmeny ‚LR‘ nebo ‚RL‘.

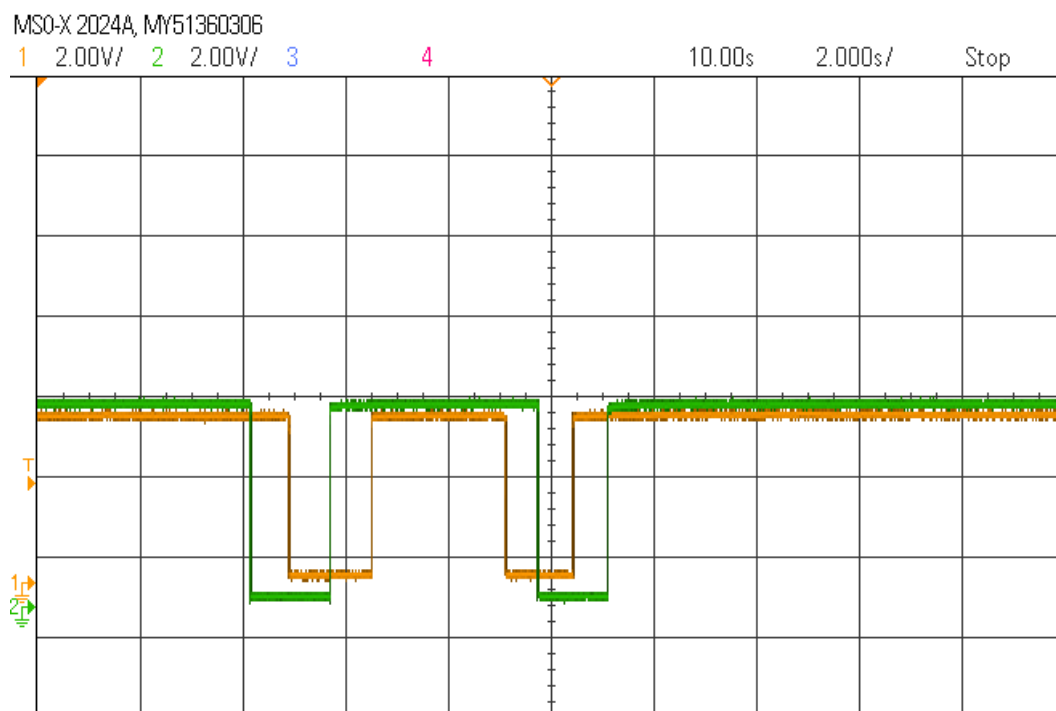
Obr. 22 ukazuje zaznamenání pohybu osoby, která se ve dveřním rámu rozhodne vrátit a pohyb rámem nedokončit. Jelikož nedojde k průchodu i přes druhý detektor, dojde pouze ke dvěma přerušení, které nastanou ve chvíli, kdy osoba první přijímač aktivuje a poté, když z něj odchází. V obou případech přerušení dojde ke kontrole stavu druhého detektoru, na kterém je samozřejmě logická nula, proto tento stav nebude vyhodnocen jako průchod dveřmi směrem z leva do prava či naopak, ale pouze zaznamenanými změnami na levé straně dveřního otvoru. Tímto se ošetří podmínka špatně vyhodnoceného stavu, při nedokončeném pohybu dveřním otvorem.

Toto detailnější vysvětlení funkce navrhnuté optoelektronické závory si lze překontrolovat na algoritmu vývojového diagramu, který je na Obr. 29.

#### **4.5.2 Testování umístění optozávory ve dveřním rámu**

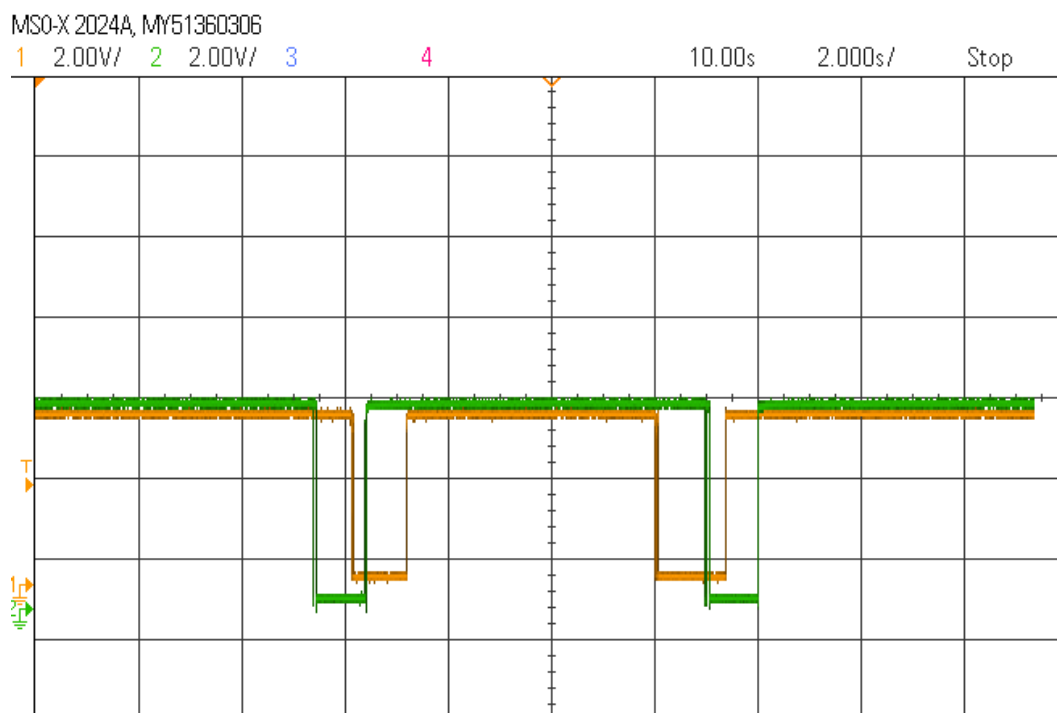
Jedním z velice důležitých a podstatných parametrů této práce bylo nalezení nejvhodnějšího umístění optozávory ve dveřním rámu. Testování proběhlo ve všech různých výškových bodech. Výběr toho nejvhodnějšího bodu však spočíval v jistotě správného vyhodnocení mikroprocesorem a zaměřením se i na praktickou stránku umístění.

Na obrázcích níže jsou uvedeny osciloskopické záznamy impulsů z testování umístění závory a zároveň i tabulka zobrazující úspěšné či neúspěšné detekování testovaných procházejících osob.



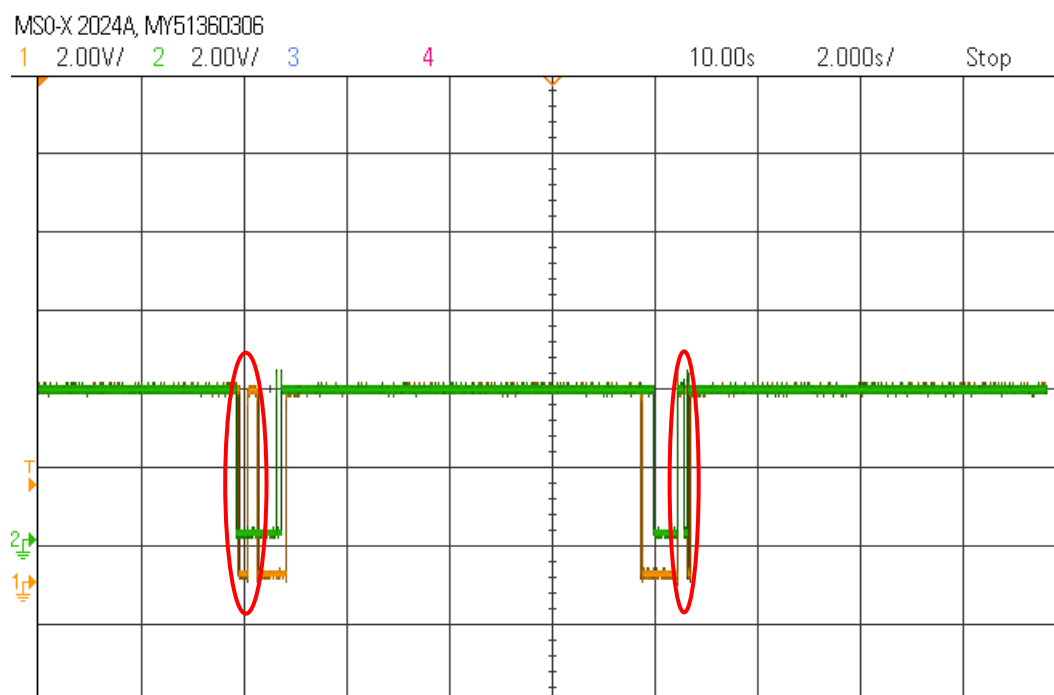
**Obr. 23:** Záznam směru pohybu zprava doleva a zleva doprava při umístění závory v úrovni hlavy

Na obr. 23 jsou dva průběhy signálů, které zaznamenali detektory při průchodu osoby dveřním rámem, v případě kdy optozávora byla umístěna ve výšce hlavy procházejícího. Z průběhu je možno jednoznačně určit směr průchodu, a jak lze vidět, tak celkově jsou signály detekovány velice přesně. Z praktické stránky se ovšem tato pozice optozávory nemůže realizovat, protože zařízení může být příliš vysoko pro osoby s menší postavou, nebo pro handicapované osoby používající invalidní vozíky.



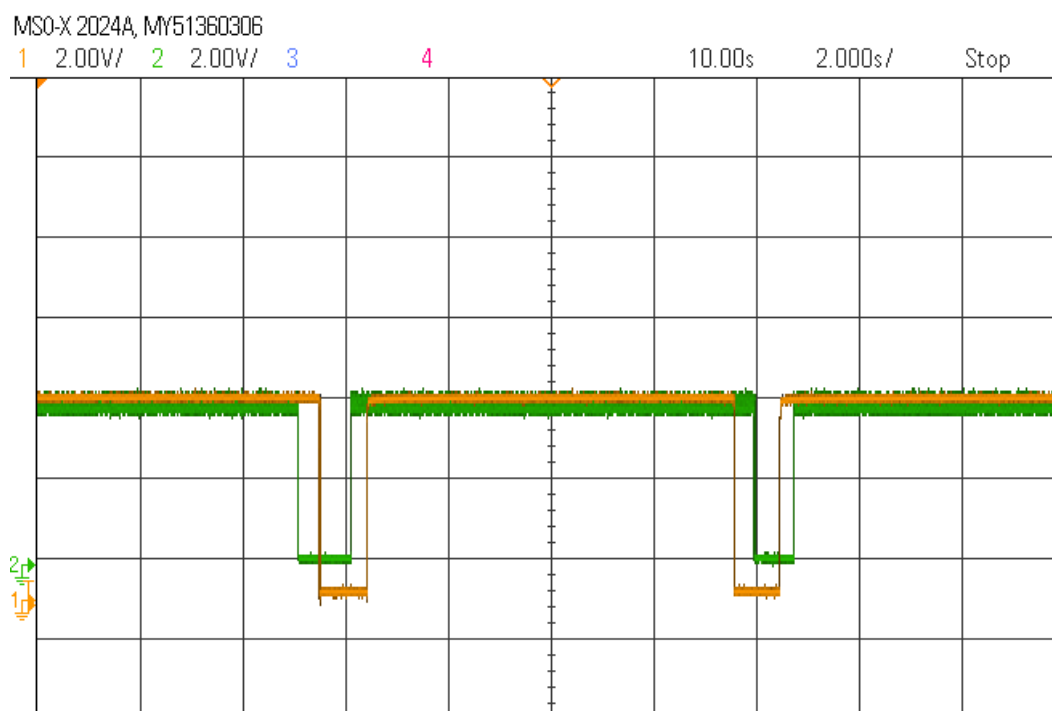
**Obr. 24:** Záznam směru pohybu zprava doleva a zleva doprava při umístění závory v úrovni ramen

Ze záznamu, kdy optoelektrická závora byla umístěna v úrovni ramen procházející osoby, lze znova vidět ideální průběh signálů, které přijímače detekovali. Opět také ale dochází k problému neideálně řešeného umístění, které v praxi nebude příliš efektivní ze stejných důvodů, které jsou uvedeny u prvního záznamu z osciloskopu (umístění závory v úrovni hlavy).



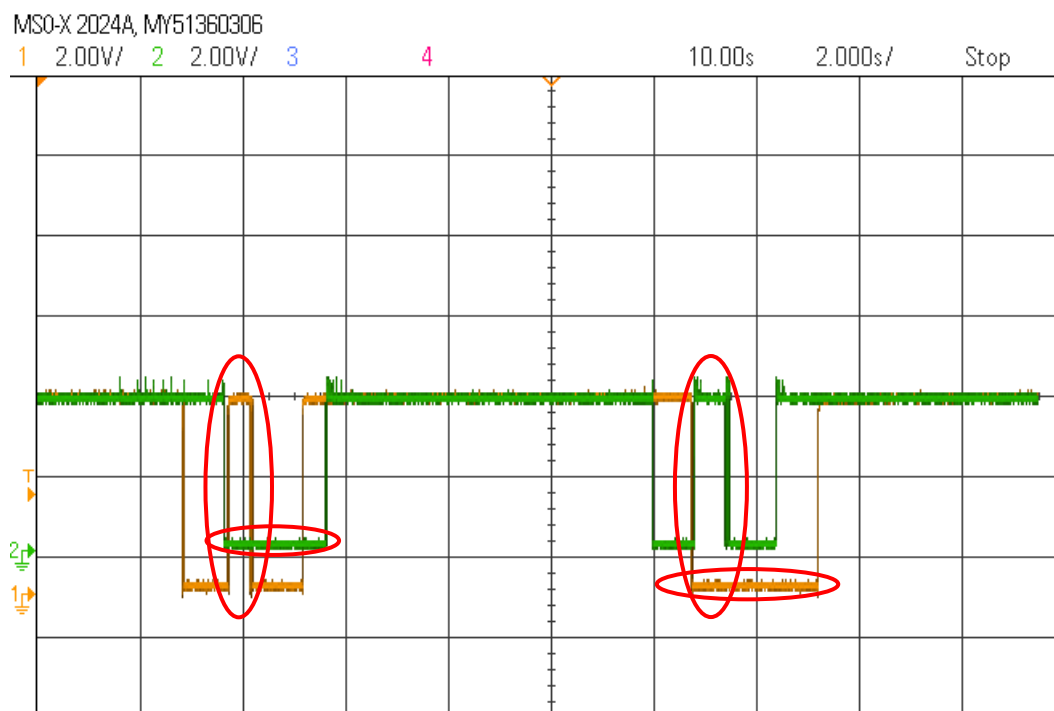
**Obr. 25:** Záznam směru pohybu zprava doleva a zleva doprava při umístění závory v úrovni pasu (s kmitajícíma rukama)

V třetím případě, kdy byla závora umístěna v úrovni pasu jsou vidět červeně vyznačené zákmity, ke kterým došlo, když testovaný objekt máchal rukama. V pravidelném pohybu se většinou ruce pohybují zároveň s chůzí při těle, ale pro testování je nutno uvést jakoukoli možnou výchylku při průchodu dveřním rámem. Z toho důvodu procházející osoba se snažila schválně rukama pohybovat i s větší rychlostí než byl samotný pohyb chůze. V tomto důsledku může nastat případ, kdy nemusí být správně vyhodnocen směr procházející osoby, jelikož by mohlo dojít k několikanásobnému přerušení detektorů stejně jako v uvedeném případě na obr. 25. Při umístění optozávory v úrovni pasu tedy dochází ke ztrátě jistoty správně zajištěné funkce závory, a proto se musí zvolit jiná varianta výškového bodu pro toto zařízení.



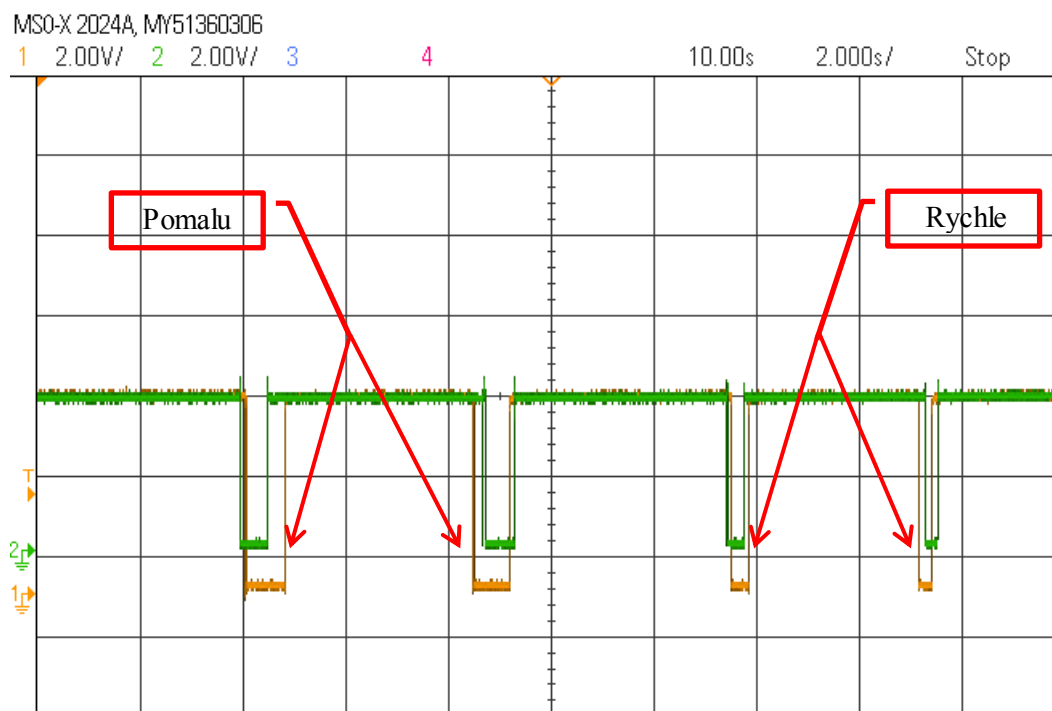
**Obr. 26:** Záznam směru pohybu zprava doleva a zleva doprava při umístění závory v úrovni stehen

Na obr. 26 je opět vidět jeden z ideálních průběhů signálů, které jsou pro rozeznání směru průchodu dveřním rámem naprosto perfektní. Tentokrát je optoelektrická závora umístěna ve výšce, kdy detekuje oblast pod pasem, přesněji řečeno oblast stehen. Signály jsou ukázkově detekovány podobně, jako u hlavy a ramen s jediným velice důležitým rozdílem. Z praktického hlediska je tato detekovaná oblast přijatelná i efektivní. Důvodů je hned několik. Je zajištěna přiměřená výška pro detekování osob menšího, či většího vzrůstu, nebo handicapovaných lidí na invalidním vozíku. Stehna jsou od pasu dolů nejširší oblastí, tím je zajištěn plynulejší pohyb pro přijímače a jejich snazší detekování. Zároveň je zabráněno možnosti přeskočit, či jinak překročit optozávoru. Z těchto důvodů a nejúspěšnějším testováním tohoto umístění, byla tato oblast vybrána jako nejefektivnější.



**Obr. 27:** Záznam směru pohybu zleva doprava a zprava doleva při umístění závoru v úrovni kolen

Při umístění optozávoru v úrovni kolenou, došlo skoro při každém třetím, čtvrtém průchodu ke špatné, nebo lépe řečeno neúplně správné detekci přijímačů. Tato nejistota nastala, pokud se při kroku první noha zastavila v oblasti druhého snímače a poté jí následovala noha druhá, která dokončovala pohyb závorou. Opět dochází k četnějšímu přerušení, jako v oblasti pasu a kmitání rukou. Rozdílem ovšem zůstává, že při průchodu kolen je stále zachovaný směr pohybu, než-li u kmitavého pohybu rukou tam a zpět, kdy nelze s jistotou tyto změny zaznamenat. Na obr. 27 byla červeně tato výjimka zaznačena. Horizontální označení představuje zmiňované zastavení kolene v oblasti druhého snímače, který bude po celou dobu pohybu v logické 1, kdy mezitím druhé koleno znova aktivuje přerušení prvního detektoru (vertikální označení) a zároveň dojde k dalšímu vyhodnocení navíc. V závislosti na tomto stavu, bude směr sice správně vyhodnocen, ale pomocí jednoho mezistavu. K tomuto mezistavu dochází především kvůli útlejší kolenní oblasti a velikosti mezery kroku rostoucí úměrně s výběrem co nejspodnější části nohy.



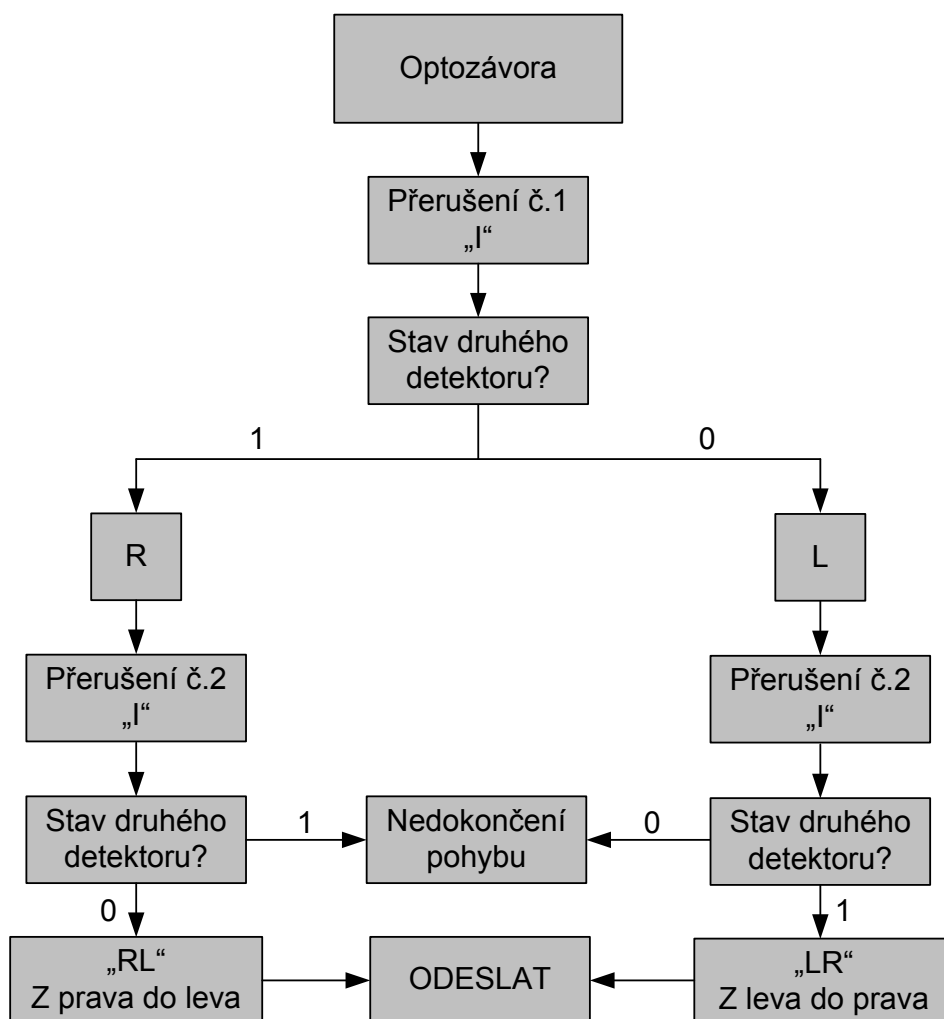
**Obr. 28:** Záznam směru pohybu zprava doleva a zleva doprava při rozdílu rychlosti průchodu dveřním rámem

Poslední screen z osciloskopu už nezobrazuje další možnou výškovou úroveň optozávory, nýbrž rychlost detekování procházející osoby dveřním otvorem. Na obr. 28 lze tedy vidět na levé polovině průchod závory normálním běžným krokem a na pravé polovině už rychlejším skoro poloběhem. Rozdíl mezi skoro proběhnutím závory a jejím klasickým průchodem, je tedy dán šířkou jednotlivých impulsů detektorů. Jelikož optozávora slouží pro záznam pohybu a vyhodnocení směru pohybu dveřním rámem v místnostech, nebylo zapotřebí testovat větší rychlosti, jako je například přímý běh, nebo dokonce sprint. Ze záznamu jde s jistotou určit, že i při rychlejším projití optozávory, dokážou detekční prvky spolehlivě průchod otvoru zaznamenat a následně vyhodnotit.



### 4.5.3 Návrh programu pro vyhodnocení směru pohybu

Vývojový diagram graficky znázorňuje jednotlivé kroky algoritmu programu a jeho stavbu. Algoritmus, jako samotný pojem označuje teoretický princip řešení problému, tj. přesný postup a návod.



Obr. 29: Vývojový diagram

#### 4.5.4 Realizace programu pro vyhodnocení směru pohybu

K realizaci programu pro mikroprocesor Arduina ovládající závoru byl použit jeho originální programovací jazyk Wiring.

Základní strukturou programovacího jazyka Wiring jsou minimálně dvě základní funkce, bez kterých program nelze ověřit, ani ho do mikroprocesoru nahrát. Těmito funkcemi jsou „setup()“ a „loop( )“.

Funkce „setup()“ je přípravnou funkcí, která se vykoná pouze na začátku programu. Tento blok příkazů slouží především k nastavení pinů platformy Arduina, sériové komunikace a dalších podobných jednorázových akcí.

V tomto případě pomocí této funkce byly nastaveny právě zmíněné parametry, jako jsou digitální vstup/výstup, pin pro přerušení a sériovou komunikaci.

*Ukázka z kódu programu:*

```
void setup()  
{  
    pinMode(4, OUTPUT);
```

Nastavení čtvrtého pinu jako výstupního. Tento pin je nastaven jenom kvůli ověření funkčnosti programu bez terminálu, ale za použití osciloskopu.

```
    pinMode(3, INPUT);
```

Nastavení třetího pinu jako digitálního vstupu. Na tento vstup je přiveden výstup přijímače, který slouží pro kontrolu jeho stavu a následné vyhodnocení.

```
    attachInterrupt(0, zavora, CHANGE);
```

Příkaz pro nastavení nultého přerušovací pinu Arduina, na který je přiveden výstup druhého přijímače. V překladu to znamená, že se spustí nastavený blok příkazů “zavora”, pokud se na daném pinu změní hodnota stavu. Funkce “CHANGE” umožní vyvolat přerušení pokaždé, bez ohledu na to zda se hodnota mění z LOW na HIGH nebo naopak.

```
    Serial.begin(9600);  
}
```

Příkaz pro otevření sériového portu s nastavenou komunikační rychlostí pro přenos dat. 9600bps je typická přenosová rychlost pro komunikaci s počítačem.

Další zmíněná důležitá funkce pro chod programu je funkce „loop( )“, která už podle názvu funguje jako smyčka příkazů, která se provádí stále dokola.

Jelikož program pracuje na principu přerušení, není zapotřebí této smyčky využívat, ale pro chod programu musí být minimálně uvedena. Bez ní, jak už bylo uvedeno by se nemohl program verifikovat a nahrát do mikroprocesoru.

*Ukázka z kódu programu:*

```
void loop()  
{  
}
```

Následuje poslední a hlavní část programu „zavora“, kde když dojde k přerušení, se právě tento blok příkazů vyvolá a mikroprocesor začne vyhodnocovat stavy a výsledky pomocí sériové komunikace zapisovat do terminálu.

*Ukázka z kódu programu:*

```
void zavora()
```

```
{
```

Blok příkazů vyvolaný při každém přerušení.

```
state=digitalRead(3);
```

Přečte stav na digitálním vstupu Arduina, který je sledován a následně podle podmínek vyhodnocen.

```
if (state==1)
```

```
Serial.write('R');
```

Pokud je stav na digitálním vstupu číslo tři roven 1 (HIGH), tak запиše pomocí sériové komunikace do terminálu písmeno 'R'.

```
else
```

```
Serial.write('L');
```

```
}
```

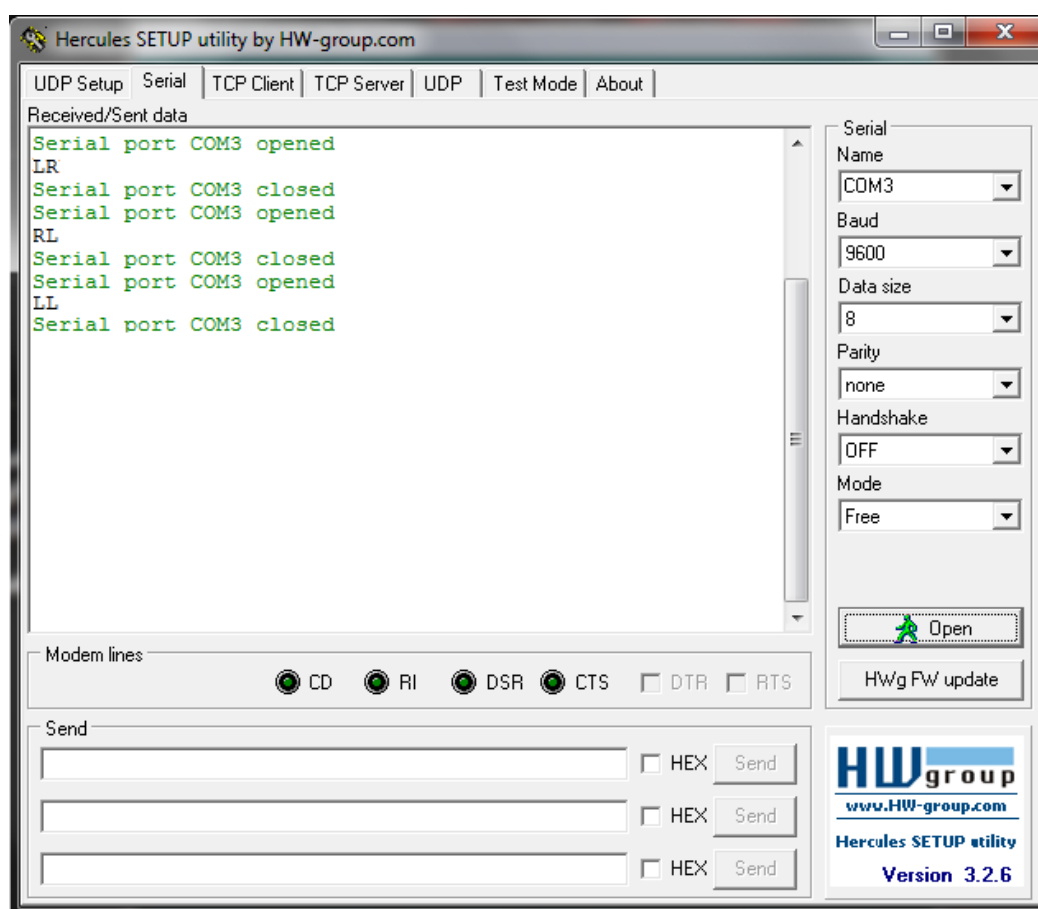
Pokud je tomu naopak a stav na digitálním vstupu číslo tři je roven 0 (LOW), tak запиše pomocí sériové komunikace do terminálu písmeno 'L'.

Program, jak už bylo vícekrát zmíněno pracuje na principu přerušení, které je vyvoláno odrazem signálů od procházejí osoby k detektorům. Jelikož je cílem rozpoznat směr, kterým se osoba vydala, musí vždy dojít ke dvěma přerušení, nebo-li ke dvěma odrazům záření k přijímačům. Vždy tedy bude jeden z přijímačů nastaven jako detektor přerušení (dále DP) a druhý jako detektor tzv. kontrolní (dále DK).

K prvnímu přerušení tedy dochází při vkročení osoby do dveřního rámu a prvního odraženého signálu k DP, u kterého se změní stav z logické 0 na logickou 1. Ve stejný okamžik se spustí část programu „zavora“, která následně zkontroluje stav na druhém detektoru DK a vyhodnotí jej pomocí písmen ‚L‘ a ‚R‘.

Následně k druhému přerušení dochází poté, kdy procházející osoba dokončuje pohyb otvorem a vzdálí se z dosahu přerušovacího detektoru. V tento okamžik se přestane odrážet záření do DP, kterému se změní stav z předchozí logické 1, na logickou 0 a následuje přerušení číslo dvě a další spuštění hlavní části programu „závora“. Tento blok programu znova zkontroluje stav na druhém „kontrolním“ přijímači a pomocí písmen ‚L‘ a ‚R‘ jej okamžitě opět vyhodnotí.

Terminál, který přijímá vyhodnocený výpis z mikroprocesoru Arduina, ve finále ukazuje výsledný směr pohybu osoby ve dveřním rámu. Ukázka terminálu zaznamenávajícího směr pohybu lze vidět na Obr. 30.



**Obr. 30:** Terminál Hercules SETUP s vyhodnocenými výsledky

Na screenu z terminálu Hercules „Received/Sent data“ lze vidět na prvním řádku otevření sériového portu COM3 pro komunikaci mikroprocesoru Arduina s počítačem. Hned na dalším řádku už je vyhodnocení směru průchodu osoby dveřním rámem z Leva do Prava nebo-li zkratkou (LR). Na následujících dvou řádcích je opět uzavření a znovuotevření komunikačního sériového portu, za kterými následuje další vyhodnocení směru pohybu, tentokrát z Prava do Leva (RL). Poslední vyhodnocení značí zastavení osoby ve dveřním rámu, která procházela z Leva do Prava, ale pohyb nedokončila a vrátila se.

## 5. Testování optoelektrické závory ve dveřním rámu

Závěrečným testováním této bakalářské práce bylo už samotné odzkoušení hotového zařízení optoelektrické závory v praxi. Testování proběhlo pomocí šesti lidí, kteří se pro ověření funkčnosti závory sami nabídli. Mezi testovanými bylo pět dospělých v rozmezí 20-45 let a jedno dítě. V níže uvedené tabulce jsou u všech osob zaznamenány jejich parametry výšky a váhy. Optozávora byla dle úrovně na pevně nastavená pro všechny procházející ve stejné pozici. Tato výšková úroveň byla v tabulce také poznačena. Závorou se procházelo opět v obou možných směrech. Pokud byl jenom jeden ze směrů špatně vyhodnocen, automaticky byla oblast u dané osoby poznačena křížkem. Vyhodnocení směru pohybu procházejícími osobami bylo kontrolováno pomocí terminálu na PC.

**Tab. 3:** Testování průchodu optoelektrickou závorou

	Výška Váha	Úroveň				
		Kolen (48 cm)	Stehen (75 cm)	Pasu (ruce) (85 cm)	Ramen (146 cm)	Hlavy (168 cm)
Testovaná osoba č.1	188cm 88kg	✗	✓	✓	✓	✓
Testovaná osoba č.2	182cm 75kg	✓	✓	✗	✓	✓
Testovaná osoba č.3	178cm 75kg	✓	✓	✗	✓	✓
Testovaná osoba č.4	168cm 58kg	✓	✓	✗	✓	✓
Testovaná osoba č.5	163cm 51kg	✓	✓	✓	✓	✗
Testovaná osoba č.6	128cm 30kg	✓	✓	✓	✗	✗
		83,33%	100%	50%	83,33%	66,67%
Úspěšnost v procentech						

Výsledky poznačené v tabulce víceméně potvrzuje předchozí záznamy z osciloskopu v podkapitole 4.5.2, kde byly podrobně popsány všechny možné problémy, které při průchodu mohli být zaznamenány v jednotlivých výškových bodech.

Největší úspěšnost detekování tedy i v tomto testování měla stehenní oblast. V úrovni ramen a rukou bychom dosáhli také 100% úspěšnosti, bohužel tyto oblasti jsou závislé na výšce procházejícího, kvůli které se cílový výsledek musel pozměnit. Oblast pasu, která odpovídala výšce okolo jednoho metru, byla ovlivněna už zmiňovanými kmity rukou v této oblasti, pokud tedy procházející osoba kolem sebe hodně mávala rukama, tak nedošlo ke správnému vyhodnocení směru. Zbývající testovaná oblast kolen měla vysokou úspěšnost, i přes její vyhodnocení pomocí jednoho mezistavu, který je popsán výše pod obrázkem č. 27.

Z tabulky lze určit, že optoelektrická závora je ve většině oblastí opravdu spolehlivá, přičemž nejvíce důležité umístění závory je v úrovni stehen, kde při každém testování a záznamu bylo dosaženo 100% úspěšnosti detekce.

## 6. Závěr

V zadané bakalářské práci byla realizována dvojitá reflexní optoelektrická závora, která dokáže rozeznat směr pohybu procházející osoby dveřním rámem a výsledek dále poslat pomocí sériové komunikace do počítače.

Využití této optoelektronické reflexní závory je především u monitorování starších či handicapovaných lidí. Zařízení za tímto účelem existuje velká řada, avšak především se vždy jedná o sledovací kamery umístěné v rozích místností, které přepočítávají trajektorii pohybů sledovaných osob. Tato zařízení ovšem bývají velice náročná a cenově se pohybují v tisících až desetitisících.

Samotná myšlenka jak zrealizovat reflexní optozávoru byla postavena na dvou základních bodech. Prvním z těchto bodů byl návrh pulsního generátoru, pro který byl v cíli použit časovač NE555, který se zapojil jako astabilní klopný obvod. Druhým bodem bylo zvážení správného výběru součástek vysílacích a přijímacích prvků. V praktické části bylo na nepájivém poli vyzkoušeno více druhů jednotlivých detektorů a vysílačů. V posledním však nejefektivnějším provedení bylo využito infračervených diod TSAL5100 s pouhým 10° úhlem vysílání a vysokým vyzařovacím výkonem, a následně už hotového IR přijímače TSOP31238 obsahujícího PIN detektor IR záření s předzesilovačem, pásmový filtr a demodulátor s TTL výstupem. Velikou výhodou tohoto detektoru bylo, že je nejcitlivější na určité frekvenci, v tomto případě na frekvenci 38kHz. Aby byl tedy zajištěn co nejideálnější příjem tohoto detektoru, byl ve vysílací části nastaven časovač NE555 přesně na tuto frekvenci, pomocí vhodných velikostí rezistorů a kondenzátorů v zapojení astabilního klopného obvodu. Těmito dvěma body byl tedy položen základ této práce optoelektronické závory.

První řešený problém ovšem nastal už při testování jednoduché závory (jednoho páru) vysílač-přijímač, kdy jejich rozsah záření nebyl dostačující v reflexním zapojení. Zprvu bylo vyzkoušeno desítek různých zapojení AKO s IR diodou, ale problém přetrvával do doby, než se zvětšila procentuální střída impulsů časovače. Ideální zapojení vysílací části s dosahem vyzařování i přes půl metru, potřebovalo teda nastavení Duty cycle až na 50%, poté už stačilo na výstup astabilního klopného obvodu přes ochranný odpor připojit infračervenou diodu a cílený dosah byl zajištěn. Pro nastavení Duty cycle bylo využito vzorců z katalogových listů s ukázkovými zapojení. Pomocí těchto vzorců a dosáhnutí nutné frekvence pro vybraný detektor už nebylo velkým problémem dopočítání zbylých hodnot součástek k nastavení požadované střídavy.

Dalším důležitým faktorem byl výběr ideálního výškového umístění zařízení ve dveřním rámu, aby bylo zajištěno vždy správné vyhodnocení směru pohybu otvorem. K nalezení toho správného bodu umístění nám posloužili záznamy z osciloskopu, na kterém byly testovány průchody závorou různými částmi těla. Z osciloskopických screenů a pohledu na praktickou stránku věci došlo k závěru, že nejspolehlivější místo detekce je u stehenní oblasti, kde tento výsledek potvrdilo i následné testování už naprogramovaným mikroprocesorem a asistence lidí, kteří byli v rámci práce pozváni jako testovací pomocníci procházející závorou umístěnou v pěti různých výškových bodech.

Zmíněný mikroprocesor byl od firmy Atmel typ ATMEGA2560-16AU, který je umístěn na vývojové platformě Arduina MEGA2560, který byl vhodně naprogramován pomocí jeho originálního jazyku Wiring.

Program pro rozeznání směru pohybu ve dveřním rámu je založen na funkci přerušení. Jelikož práce, jak bylo zmíněno je postavaná na dvojité optozávoře (dva páry vysílač-přijímač), byl výstup z jednoho detektoru připojen na pin pro přerušení a výstup z druhého detektoru na klasickém digitálním vstupu platformy. Při dosažení jakékoli změny na přerušovacím pinu dochází k funkci přerušení, která spustí hlavní blok programu kontrolující výstup druhého přijímače. Zaznamenané stavy vyhodnotí a výsledně zapíše směr pohybu optoelektrickou závorou. Vyhodnocený směr z mikroprocesoru je pomocí sériového přenosu poslán na terminál PC, kterým byla použita aplikace Hercules Setup.

Za pomoci všech zmiňovaných kontrolních testů, provedených jak na osciloskopu, tak i v praktickém použití, je potvrzena správná funkčnost navrhnutého zařízení. Z testů plyne, že optozávora umístěná v ideálním výškovém bodě (stehenní oblasti) je stoprocentně spolehlivá.

## 7. Použitá literatura

- [1] OPTOELEKTRONIKA [online]. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií: Vysoké učení technické v Brně [cit. 2013-08-07]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/oks/cz/pdf/skripta.pdf>
- [2] HOLUB, Jan. Vlastnosti a možnosti použití luminiscenčních diod. Czechdesign [online]. 2004, s. 3 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://www.czechdesign.cz/index.php?lang=1&status=c&clanek=230>
- [3] KLOS, Oldřich. Optoelektronické a laserové senzory polohy: přehled trhu. Automatizace [online]. 2005, roč. 48, č. 4, s. 5 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=642>
- [4] ŠIKUT, Karel. Optické závory pro detekci objektů. Automa [online]. 2010, s. 2 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=40383](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40383)
- [5] ZČU V PLZNI - FAKULTA STROJNÍ. Optické senzory pro měření vzdálenosti [online]. Plzeň, 2006, 11.1.2007 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: [http://home.zcu.cz/~formanek/mmvyuka/Data/opticke\\_snimace/optika\\_vzda lenost.htm](http://home.zcu.cz/~formanek/mmvyuka/Data/opticke_snimace/optika_vzda lenost.htm)
- [6] DOLEČEK, J. Moderní učebnice elektroniky: Optoelektronika a optoelektronické prvky. Praha: BEN, 2007. 160 s. [cit. 2014-02-25]. ISBN 80-7300-184-5.
- [7] Body Sensor Network. Editor Guang/Zhong YANG. London: Springer, 2006. Xxviii, 493s. [cit. 2014-04-11]. ISBN 978-1-84628-272-0
- [8] MYSLÍK, V. – HUDEC, L. – MACHÁČ, P.: Rozvoj elektronických zařízení. Optoelektronika. SNTL, Praha, 1992, 56 s. [cit 2013-08-08].
- [9] VISHAY SEMICONDUCTORS. High Power Infrared Emitting Diode: TSAL5100 datasheet [online]. 2005. [cit 2014-03-11]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/26523/VISHAY/TSAL5100.html>
- [10] VISHAY SEMICONDUCTORS. IR Receiver Modules for Remote Control Systems: TSOP31238 datasheet [online]. 2012. [cit 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1696524.pdf>
- [11] Arduino [online]. 2005 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://arduino.cc/>
- [12] ATMEL CORPORATION. 8-bit Atmel Microcontroller: ATmega 2560/V datasheet [online]. 2014. [cit 2014-03-11]. Dostupné z: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf)
- [13] HW Group [online]. 1997 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.hw-group.com/>
- [14] TEXAS INSTRUMENTS. Precision timers: NE555 datasheet [online]. 1998. [cit 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/312/003/ne555-datasheet-1.pdf>



## **8. Přílohy**

**Příloha 1 (CD):** Schéma vysílací a přijímací části

**Příloha 2 (CD):** Eagle schematic a board pro výrobu DPS

**Příloha 3 (CD):** Testování - screeny z osciloskopu

**Příloha 4 (CD):** Programový kód v jazyce Wiring, vývojový diagram